



TITLE:

鉛直軸回りの回転運動を伴う建築物のシステム同定と水平軸回りの回転運動に対する剛体の転倒限界(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

鍋島, 国彦

CITATION:

鍋島, 国彦. 鉛直軸回りの回転運動を伴う建築物のシステム同定と水平軸回りの回転運動に対する剛体の転倒限界. 京都大学, 2019, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2019-03-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21729>

RIGHT:

京都大学	博士（ 工学 ）	氏名	鍋 島 国 彦
論文題目	鉛直軸回りの回転運動を伴う建築物のシステム同定と水平軸回りの回転運動に対する剛体の転倒限界		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文では、偏心を有する立体建築骨組の鉛直軸回りの捩れ振動に関するシステム同定理論と剛体の水平軸回りの回転に関する転倒限界理論が展開されており、本論文は全6章から構成されている。前者についてまとめた Part I（2、 3 章）では、振動数領域での独自のシステム同定理論を提案し、後者についてまとめた Part II（4、 5 章）では、断層近傍地震動をダブルインパルスに置換した上でエネルギー平衡則に基づき陽な転倒限界式を誘導している。各章の要旨を以下に示す。</p> <p>第1章では、建築構造物の地震時の損傷などを推定するための構造ヘルスマモニタリングと、家具等の地震時の転倒現象を予測するための剛体のロッキング振動・転倒限界に関する研究分野の背景について概観し、現状の問題点および研究目的を述べるとともに、本論文の構成を示している。</p> <p>第2章では、同定対象層から最上層までの自由体における力の釣合いに着目して、物理パラメータの評価式を周波数領域上で構築し、全層同時観測データに基づく同定手法と、少数の同時観測データに基づく同定手法の2種類の手法を提案している。具体的には、時間領域における運動方程式をフーリエ変換して振動数領域の式を誘導し、それらの式から各層の剛性や減衰係数を評価する表現を誘導している。導いた式は振動数に関する式であるが、剛性や減衰係数は振動数に依存しない量であるため、振動数に依存しないものとして評価できることを明らかにしている。提案手法は、同定に際して時間積分を必要とせず、積分演算に起因した同定精度の低下の可能性を回避可能であるという特徴を有している。また、同定に用いるデータの選定を、信頼性の高い低次のモード情報に基づいて行っているため、観測ノイズに対して安定した特性を有することを明らかにしている。</p> <p>第3章では、第2章で提案した理論の妥当性を検証するために、数値シミュレーション解析および小型物理モデルによる実験を行っている。数値実験では、5層の1軸および2軸偏心建物を対象として、観測ノイズや近接モードの有無が同定精度に及ぼす影響について検討している。模型実験では2層の1軸および2軸偏心模型を製作し、静的載荷実験および記録地震波を用いた振動台実験を行っている。静的載荷実験では、各層各構面の荷重変形関係を測定し、得られた荷重変形関係から試験体の各層の剛性を推定している。振動台実験では、入力波の振幅レベル・入力方向を実験変数として同定を行い、静的載荷実験より推定した各層の剛性と比較することで精度検証を行っている。これらの数値実験および模型実験から、提案した方法は観測ノイズなどを含んだ場合でも高い信頼性を有することを明らかにしている。</p> <p>第4章では、断層近傍地震動のパルス性状の主要部分（1サイクル正弦波と類似）を理想化した「ダブルインパルス」を入力とし、剛体の転倒現象を力学的エネルギー平衡則および角運動量保存則の観点から捉えることで、剛体の転倒限界の入力レベルを理論的に導出している。入力をダブルインパルスに理想化することにより、応答は自由振動の組み合わせとして表現され、このことが理論的な取り扱いを容易にしている。具体的には、剛体の水平軸回りの回転運動における復元力（モーメント）と回転角の関係を無限初期剛性を有する非線形関係でモデル化し、第1インパルスにより入力される運動エネルギー（初期回転角速度は角運動量保存則から誘導）と最大回転角時のひずみエネルギー相当量が釣り合うことにより最大回転角が閉形表現で誘導できることを明らかにしている。また、第2イ</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	鍋島 国彦
<p>ンパルスの作用タイミングについては、剛体の床面への接地直後が最も大きな回転角を生じさせることを明らかにし、剛体の床面への接地前後の角運動量保存則から接地直後の回転角速度が誘導できることを明らかにしている。ここでは、第2インパルス入力後の剛体の回転角が転倒限界に丁度達するようなインパルス入力速度表現を転倒限界入力として定義している。尚、剛体の接地直後の回転角速度による運動エネルギーと最大回転角時のひずみエネルギー相当量（実際には位置エネルギー）が釣り合うことにより最大回転角を閉形表現で誘導している。これまでの転倒限界を見出す方法では、時刻歴応答解析によるパラメトリック手法のみが存在していたのに対して、本理論により、入力速度レベルの解析的な転倒限界式が誘導されたことになる。</p> <p>第5章では、第4章で提案した剛体の転倒限界理論の精度検証を目的として、数値実験および模型実験を行っている。数値実験ではダブルインパルス入力と対応する1サイクル正弦波入力における転倒限界入力レベルを数値的に求め、提案手法により評価した転倒限界入力レベルとの比較を行っている。転倒限界を与える極限的なダブルインパルス入力では、2つのインパルスの時間間隔は剛体のサイズ等に従属した値として求められることになる。また、対応する1サイクル正弦波入力の周期はこのインパルス時間間隔の2倍として与えられることになる。転倒限界を丁度与えるような1サイクル正弦波入力の周期は正確にはこの値とは若干異なるものとなるため、詳細な検討が必要となる。模型実験では、製作した木製の小型ブロックに対して1サイクル正弦波加振を行い、実験的に求めた転倒限界加速度振幅と提案手法により得られた値との比較を行うことで提案手法の有効性について検討している。その結果、提案転倒限界式によると、高い精度で転倒限界が与えられることを明らかにしている。</p> <p>第6章では、本論文で得られた研究成果の要約を行っている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文では、偏心を有する立体建築骨組の鉛直軸回りの捩れ振動に関するシステム同定理論と剛体の水平軸回りの回転に関する転倒限界理論を展開している。前者については、振動数領域での独自のシステム同定理論を提案し、後者については、断層近傍地震動をダブルインパルスに置換した上でエネルギー平衡則に基づき陽な転倒限界式を誘導している。以下、その内容と得られた結果を記す。

(1) 同定対象層から最上層までの自由体における力の釣合いに着目して、物理パラメータの評価式を周波数領域上で構築し、全層同時観測データに基づく同定手法と、少数の同時観測データに基づく同定手法の 2 種類の手法を提案した。提案手法は、同定に際して時間積分を必要とせず、積分演算に起因した同定精度の低下の可能性を回避可能である。また、同定に用いるデータの選定を、信頼性の高い低次のモード情報に基づいて行っているため、観測ノイズに対して安定した特性を有している。

(2) (1)の理論の妥当性を検証するために、数値シミュレーション解析および小型物理モデルによる実験を行い、提案した方法は観測ノイズなどを含んだ場合でも高い信頼性を有することを明らかにした。

(3) 断層近傍地震動のパルス性状の主要部分を「ダブルインパルス」に理想化し、剛体の転倒現象を力学的エネルギー平衡及び角運動量保存の観点から捉えることで、転倒限界の地動入力レベルを閉形表現で見出す理論を展開した。これまでの転倒限界を見出す方法では、時刻歴応答解析によるパラメトリック手法のみが存在していた。

(4) (3)の限界式の信頼性と精度を明らかにするために、提案したダブルインパルスと同じ最大フーリエ振幅を有する 1 サイクル正弦波に対する応答解析を行い、高い精度で転倒限界が与えられることを明らかにした。

以上の内容を要約すると、本論文は、偏心を有する立体建築骨組の鉛直軸回りの捩れ振動に関するシステム同定理論と剛体の水平軸回りの回転に関する転倒限界理論と剛体の水平軸回りの回転に関する転倒限界理論を提案したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 31 年 1 月 24 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降